

Georg Friedrich von Reichenbach a jeho doba

Doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.,
Fakulta stavební ČVUT v Praze,
Ing. Pavel Hánek, Ph.D.,
VÚGTK, v. v. i.
a Zemědělská a technologická fakulta
Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích

Abstrakt

Článek krátce připomíná život a dílo konstruktéra vynikajících geodetických přístrojů Georga Friedricha von Reichenbacha, autora rozšířeného uspořádání os repetičního teodolitu, nebo nitkového (ryskového) dálkoměru, který se stal základem klasické tachymetrie. Zmíněn je též fyzik a astronom Johann von Fraunhofer, autor postupu výroby kvalitních optických skel, a další osobnosti. Naznačen je také následující vývoj přístrojů a souvisejících firem.

Georg Friedrich von Reichenbach and His Time

Abstract

The article briefly recalls the life and work of the designer of excellent geodetic instruments Georg Friedrich von Reichenbach. He was the author of the extended arrangement of the axes of the theodolite or the reticule distance meter. This reticule became the basis of classical tachymetry. Johann von Fraunhofer, the author of the process of producing quality optical glass, is also mentioned. Following development of devices and related companies is indicated as well.

Keywords: Georg Friedrich von Reichenbach, Johann von Fraunhofer, optical glass, reticule, axes of the theodolite

1. Úvod

Přelom 18. a 19. století a doba po napoleonských válkách byly ve znamení prudkého rozvoje občanské společnosti, vzdělanosti a průmyslu. Značných změn v technických, ekonomických a správních souvislostech nutně doznalo též zeměměřičství ve všech svých jednotlivých specializacích, např. vyšší geodézii, geodetických základech, vojenském a katastrálním mapování, vytyčování liniových staveb a ve stavbě potřebných přístrojů a pomůcek. Povšimněme si v následujícím textu přínosu bavorského dělostřeleckého důstojníka, významného konstruktéra geodetických, astronomických a fyzikálních přístrojů a podnikatele v oboru jemné mechaniky, Georga Friedricha von Reichenbacha (24. 8. 1771 – 21. 5. 1826). 250. výročí jeho narození jsme si mohli připomenout v minulém roce. Text též zmiňuje další významné osobnosti a některé navazující skutečnosti, které se v původní podobě už staly součástí historie. Bližší (i když ne vždy vzájemně souhlasící) informace čtenář snadno najde na internetu, především s využitím google.com a Wikipedia.org a v citované literatuře. Některé doplňující údaje, uvedené zejména v poznámkách, jsou převzaty z prací obou autorů tohoto příspěvku [1], [2].



Obr. 1 Georg Friedrich von Reichenbach,
autor Joseph Karl Stieler, zdroj: www.google.com

2. Georg Friedrich von Reichenbach a jeho vrstevníci

Georg Friedrich Reichenbach (obr. 1) se narodil v bádenském Durlachu (dnes část Karlsruhe) v rodině dvorního rytce. Už ve čtrnácti letech vstoupil v Mannheimu do vojenské školy. Zajímal se o konstrukce přístrojů, podle anglického vzoru sestavil sextant. To zřejmě přispělo k tomu,

že v roce 1791 byl vyslán na dvouletou studijní stipendijní cestu do Anglie. Prošel praxí v různých anglických strojírenských dílnách, navštěvoval hvězdárny, u firmy Boulton & Watt se podrobně seznámil s tehdy moderní výrobou parních strojů. V roce 1800 byl povolán do armády a podílel se na reorganizaci bavorského zbrojního průmyslu.

V té době v Bavorsku neexistovala dílna specializovaná na astronomické a měřické přístroje. V roce 1802 založil Reichenbach v Mnichově s podporou bavorské Akademie věd a na popud saského rady Beigela, který řídil bavorské

geodetické práce, dílnu pro výrobu matematických přístrojů (Optisch-mechanische Werkstatt). G. Reichenbach byl v té době už známým konstruktérem astronomických a geodetických přístrojů. Dílna se v roce 1804 za významné spoluúčasti mechanika, vynálezce a výrobce sextantů Josepha Liebherra (1767–1840) a podnikatele a finančníka Josepha von Utzschneidera (1763–1840) změnila na světově známý Matematicko-mechanický ústav (Mathematisch-Feinmechanisches Institut), vyrábějící špičkové přístroje jemné mechaniky a optiky. Přístroje byly obvykle signovány jmény všech tří společníků, často jsou však uváděny jen pod jménem Reichenbach (obr. 2). (Poznámka: Bordův kruh byl přístroj s jedním děleným kruhem pro přesné měření úhlů repeticí v obecné rovině, proložené přístrojem a oběma cíli. Krajnými polohami kruhu byla poloha vodorovná nebo svislá, kdy přístroj přebíral funkce univerzálního teodolitu. Spodní dalekohled sloužil ke kontrole neměnnosti zacílení na pevný bod, tedy ke kontrole stability postavení přístroje.) Mnoho zakázek na měřické pomůcky pocházelo od bavorského státu pro budování trigonometrické sítě a katastrální a vojenská mapování (obr. 3). Po Reichenbachově smrti se dílovedoucím stal optik Georg Merz (1793–1867). Ten se v roce 1839 spojil s Josephem Mahlerem, který již byl vlastníkem společnosti Utzschneider & Fraunhofer. Koupí Matematicko-mechanického ústavu a spojením obou podniků vznikla renomovaná firma G. & S. Merz GmbH, vyrábějící astronomické a jiné optické přístroje.

Je třeba zmínit i související okolnosti. Technik a vysoce postavený bavorský státní úředník Joseph Utzschneider

v roce 1806 (někdy uváděno 1803, 1805) založil optickou dílnu v sekularizovaném klášteře v Benediktbeuren u Mnichova. Sklármu vedl švýcarský optik Pierre-Louis Guinand (1748–1824) a od roku 1809 (1811?) fyzik a astronom Johann von Fraunhofer (1787–1826), který objevil a definoval řadu zákonů optiky (např. Fraunhoferova difrakce, Fraunhoferovy čáry ve slunečním spektru). Především jeho zásluhou byla vyvinuta metoda výroby čirých homogenních (bez bublinek) speciálních optických skel, draselno-vápenatého korunového s nízkým indexem lomu a draselnoolovnatého flintového s vysokým indexem lomu 1,5 až 2, lišícím se podle vlnové délky světla. Nový postup se stal celosvětovým základem výrazného zvýšení kvality optických prvků a tím též přístrojů. Dva optické prvky (čochky, klíny) vyrobené z těchto skel, podstatně korigují zejména barevnou vadu; taková optická soustava se nazývá achromatickou. Bližší informace přináší např. ([3], s. 53). Sklářská firma, která přesídlila do Mnichova, nesla název Utzschneider & Fraunhofer (obr. 4). Fraunhofer též konstruoval spektroskop a stroj na broušení achromatic-



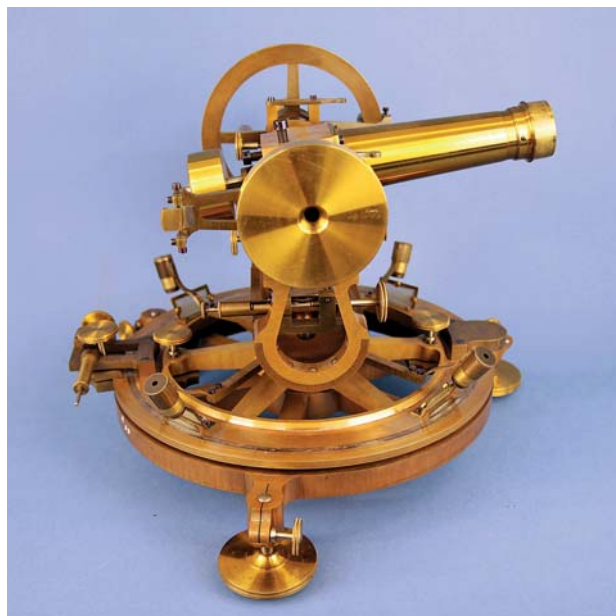
Obr. 2 Úprava Bordova kruhu, Reichenbach Utzschneider Liebherr in München, zdroj: www.surveyinginstruments.org



Obr. 3 Univerzální teodolit Reichenbach, zdroj: www.google.com



Obr. 4 Astronomický dalekohled Utzschneider & Fraunhofer, zdroj: www.google.com



Obr. 5 Pasážník T. Ertel & Sohn,
zdroj: www.surveyinginstruments.org



Obr. 6 Bordův kruh, výroba A. Jaworski,
zdroj: www.google.com

kých čoček, v roce 1824 dodal svůj největší astronomický dalekohled (s tehdy bezkonkurenční ohniskovou délkou 4,33 m) Georgu Wilhelmu Struwemu do ruské observatoře v městě Dorpat (dnešní Tartu v Estonsku). Podnik samozřejmě dodával optické prvky i pro Matematicko-mechanický ústav. Jeho pokračovatelem byla po roce 1839 firma G. & S. Merz GmbH, která zanikla v roce 1932. (Poznámka: refraktor Merz z roku 1912 je od roku 1960 umístěn v hvězdárně v Úpici.) V roce 1814 se Georg Reichenbach rozešel se svými společníky Josephem Lieberherem a Josephem Utschneiderem. V následujícím roce založil v Mnichově nový podnik Reichenbach-Ertel, v němž společníkem a mistrem byl Traugott Leberecht von Ertel (1778 až 1858). Zaměřil se na výrobu přesných, vysoce kvalitních přístrojů geodetických (zejména teodolitů) a astronomických přístrojů (pasážníků). Reichenbach při svých cestách do významných středisek jemného a optického průmyslu ve Vídni, Francii a Anglii získával a následně uplatnil cenné zkušenosti. Podnik v roce 1821 převzal T. G. Ertel, od roku 1834 byl používán název T. Ertel & Sohn (obr. 5). Firma v dalších letech měnila majitele, v roce 1912 zřídila speciální oddělení pro vojenské zakázky. Pod obměňovaným názvem Ertel-Werke für Feinmechanik po roce 1921 vyráběla geodetické, astronomické a speciální přístroje, včetně přístrojů pro kinoprůmysl. V době 2. světové války produkovala šifrovací stroje Enigma. Známa firma zanikla jako Ertel Werke A. G. v roce 1984.

Johann Josef von Prechtel (1778–1854), ředitel c. k. Polytechnického ústavu ve Vídni (k. k. Polytechnisches Institut in Wien, založen 1815, dnešní TU Wien) pověřil radu Georga von Reichenbacha a Traugotta Leberechata von Ertela založením mechanické dílny, nesoucí název Mechanische Werkstätte des k. k. Polytechnischen Institutes in Wien. Ta v roce 1818 zakoupila dva Reichenbachovy dělicí stroje, o rok později do ní vstoupil Christoph Starke (1794 až 1865). Ch. Starke byl dřívějším Reichenbachovým zaměstnancem, v roce 1829 se po smrti Reichenbachova nástupce Andrease Jaworskiho (?–1829) stal dílovedoucím (obr. 6). Od roku 1854 se na vedení dílny podílel Gustav Starke (1832–1917), který v roce 1866 úspěšně pod-



Obr. 7 Tachymetr Starke & Kammerer Wien k.k.
Polytechnikum, zdroj: www.surveyinginstruments.org

nik převzal a spolu s partnerem Carl Kammererem založil světově známou firmu Starke & Kammerer. Do roku 1873, kdy firma přesídlila do vlastních prostor, byly v označení výrobků používány oba názvy (obr. 7). Firma dodávala veškeré vybavení pro vídeňský Vojenský zeměpisný ústav (VZÚ), úspěšně exportovala. Po roce 1829 spolupracovala s prof. Simonem Stampferem (1790–1864) zejména při konstrukci nivelačních přístrojů; přístroje byly označovány Stampfer & Starke. (Poznámka: v roce 1879 firma vyrobila redukční tachymetr a v roce 1881 logaritmický tachymetr podle návrhu našeho krajana Antonína Tichého.) Podnik

zanikl v roce 1940. Přístroje této firmy byly ve velkém používány na našem území a jsou početně zastoupeny v českých sbírkách.

Georg Friedrich von Reichenbach po roce 1820 působil ve státních službách, zemřel v roce 1826 a je pochován v Mnichově.

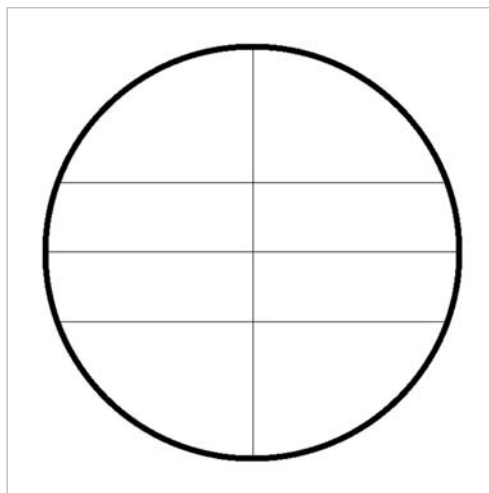
3. Georg Friedrich von Reichenbach a jeho dílo

3.1 Nitkový dálkoměr

Georg Friedrich von Reichenbach se stal autorem několika vynikajících konstrukcí, které přinesly snížení hmotnosti a rozměrů měřických přístrojů při současném zachování nebo zvýšení jejich přesnosti a současně do dnešní doby ovlivnily konstrukce přístrojů a možnosti jejich použití.

V roce 1803 G. von Reichenbach postavil dělicí stroj kruhových stupnic na principu kopírování, používaný do 20. století. (Poznámka: první použitelný dělicí stroj vyrobil v roce 1763 Jesse Ramsden.) V roce 1813 konstruoval pro bavorskou královskou katastrální komisi nitkový dálkoměr, který v německé literatuře stále nese název Reichenbach'sche Distanzmesser. Prvních 12 kusů zhotovili bratři Lieberherrové v Mnichově (obr. 8). Použitím a zejména výrobou velmi jednoduché zařízení se stalo základem pro nejrozšířenější variantu klasické tachymetrie (rychloměřičtví), používané při mapování i projektování ještě po polovině 20. století. (Poznámka: Geminiano Montanari navrhl nitkový dálkoměr se soustavou 12–15 vláken v roce 1674, dalšími konstruktéry byli James Watt v roce 1771 a v roce 1778 Green.) Dálkoměr je tvořen dvojicí vodorovných vláken, symetricky umístěných k vodorovnému vláknem záměrného kříže. Paprsky, které prochází průsečíky těchto vláken se svislým vláknem, svírají konstantní dálkoměrný úhel δ a na svislé postavené lati s centimetrovým dělením se čtením milimetrů odhadem vytínají laťový úsek l . Čtení svislého kruhu a latě prostředním vodorovným vláknem kříže je použito pro trigonometrický výpočet převýšení. Vzdálenost vláken dálkoměru je volena tak, že pro délku s , měřenou ve vodorovné poloze dalekohledu, platí $s = 100 / +k$, (m ; m). Součtová konstanta přístroje k je v řádu centimetrů, počátkem 20. století byla v dalekohledu vyloučena opticky. Z uvedeného vztahu lze snadno získat představu o přesnosti měřené délky. V ostatních konfiguracích je měřená vzdálenost šikmá. V tom případě postavení latě kolmo k záměře bylo poměrně obtížné a zdlouhavé. V běžné praxi se volilo svislé postavení latě, pro které je nutno ve výpočtu uvážit opravu laťového úseku ze sklonu dalekohledu.

Pro číselnou variantu prostorového polárního zaměření diskrétního bodu byly konstruovány tachymetry, představované minutovým teodolitem, někdy jen se segmentem svislého kruhu. Kruhy byly čteny na šedesátinné minuty, často jen jedním vernierem. Tachymetry byly doplňovány buzolou nebo usměřovačem (tzv. buzolní teodolity, buzolní tachymetry), nebo byly shodné s teodolitovou buzolou. Tachymetr se segmentem svislého kruhu je v dobové české literatuře značen jako univerzální nivelační přístroj ([4], s. 161–171). Pro grafické metody byl nitkovým dálkoměrem opatřen dalekohled záměrného pravítka měřického stolu. Původně používané pokovené pavoučí vlákno bylo později nahrazeno rytinou záměrného kříže na plan-paralelní skleněné destičce, kde ryskový dálkoměr je tvo-



Obr. 8 Záměrný kříž dalekohledu s nitkovým dálkoměrem, zdroj: www.surveyinginstruments.org

řen dvěma krátkými vodorovnými úsečkami. (Poznámka: První rytinu záměrného kříže na skle vyhotovil už roku 1748 Friedrich Brander v Augsburgu.) Ryskový dálkoměr se stal po dobu více než jednoho století součástí většiny opto-mechanických geodetických přístrojů. (Poznámka: Konstrukční zajímavostí je přesný přístroj Kern DK-RV, vyráběný ještě v 70. letech 20. století. Vzdálenost dálkoměrných rysek se mechanicky mění v závislosti na sklonu záměry, převýšení se dopočítává pomocí funkce tangens, jejíž hodnoty se alternativně čtou na stupnici svislého kruhu. Přesnost měřených délek dosahuje hodnoty 0,04 m / 100 m.)

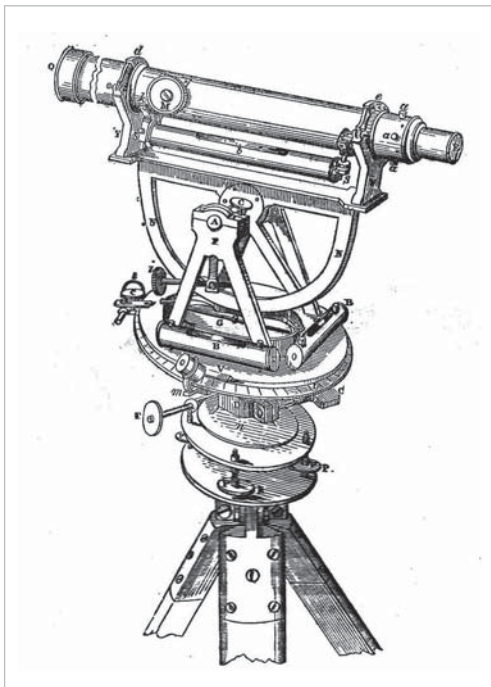
Pro redukci šikmé délky na vodorovnou a pro výpočet převýšení středního čtení latě nad horizontem přístroje platí tzv. tachymetrické rovnice, které jsou včetně dalších přístrojových a pracovních detailů běžně dostupné v dobové literatuře, např. v ([4], s. 311–504) nebo stručněji v ([5], s. 24–25; [6], s. 223–224). Pro jejich řešení byly používány nomogramy nebo speciální logaritmická lineární i kruhová pravítka. Teprve od 2. poloviny 20. století bylo možno pro opakovaný výpočet velkého počtu bodů použít kapesní programovatelný kalkulátor s alespoň 50 pamětovými kroky.

Na principu tachymetru s ryskovým dálkoměrem byl v roce 1900 vyroben firmou Fennel diagramový autoredukční tachymetr podle návrhu prof. E. H. H. von Hammera, který řešil tachymetrické rovnice přímo v (přehledném) terénu opto-mechanickou cestou. Rysky jsou nahrazeny křivkami s proměnlivou vzdáleností podle strmosti záměry; pro přímé čtení převýšení je určeno několik křivek s různými násobnými konstantami. Dosažená přesnost se nezměnila: 0,15 m až 0,40 m v délce, 0,02 m až 0,10 cm ve výšce podle sklonu a délky záměry a viditelnosti. Později tento typ v různých úpravách nabízel většina výrobců.

Dodejme, že na našem území jsou méně známé redukcí pravítkové tachymetry. Šikmou délku, čtenou nitkovým dálkoměrem, je nutno ručně nastavit na šikmé základní pravítko přístroje. Na vodorovném a svislém pravítku se pak odečtou hodnoty vodorovné vzdálenosti a převýšení. Určitou obdobou principu jsou kontaktní tachymetry, u nichž dálkoměrný úhel vzniká mechanicky překývnutím (poskočením) dalekohledu ve svislé rovině pomocí páky ([3], s. 24–25). Tyto přístroje vznikaly stejně jako logaritmické tachymetry koncem 19. století, v praxi se však u nás víc neprosadily.

3.2 Uspořádání os repetičního teodolitu

Teodolity patří k základním zeměměřickým přístrojům. Název prvně použil Angličan Thomas Digges v roce 1571. Jednalo se však jen o upravený měřický kvadrant, který vznikl odvozením ze starověkého astrolábu. První moderní teodolit konstruoval v roce 1730 londýnský mechanik John Sisson. Teodolity však byly jen jedním z možných přístrojů pro měření úhlů, ve vyspělých zemích západní Evropy se jejich konstrukce a rozsah použití lišily. Představu o typickém anglickém teodolitu poloviny 19. století poskytuje ([7], s. 122–127) (obr. 9). Ke čtení na obou kruzích s přesností 1' sloužily verniery. (Poznámka: Obdobně konstruovaný buzolní teodolit vyráběla ve stejné době pražská dílna Richarda Mathiase Brandeise.) U čtených kontinentálních výrobců byl svislý kruh nebo jeho segment osazen na konci klopné osy dalekohledu (viz např. obr. 7).



Obr. 9 Anglický teodolit poloviny 19. stol., zdroj: [7], s. 123

Vzhledem k možnostem výroby se vyšší přesnosti čtení dalo dosáhnout jen zvětšováním průměru kruhů a tím i hmotnosti. V roce 1753 navrhl prof. J. T. Mayer z Göttingenu pro zvýšení přesnosti repetiční metodu měření úhlů, která se postupně prosadila. Pro její aplikaci byly zapotřebí tzv. repetiční (dvouosé) teodolity, které současně umožnily nastavení nuly vodorovného kruhu do libovolného směru.

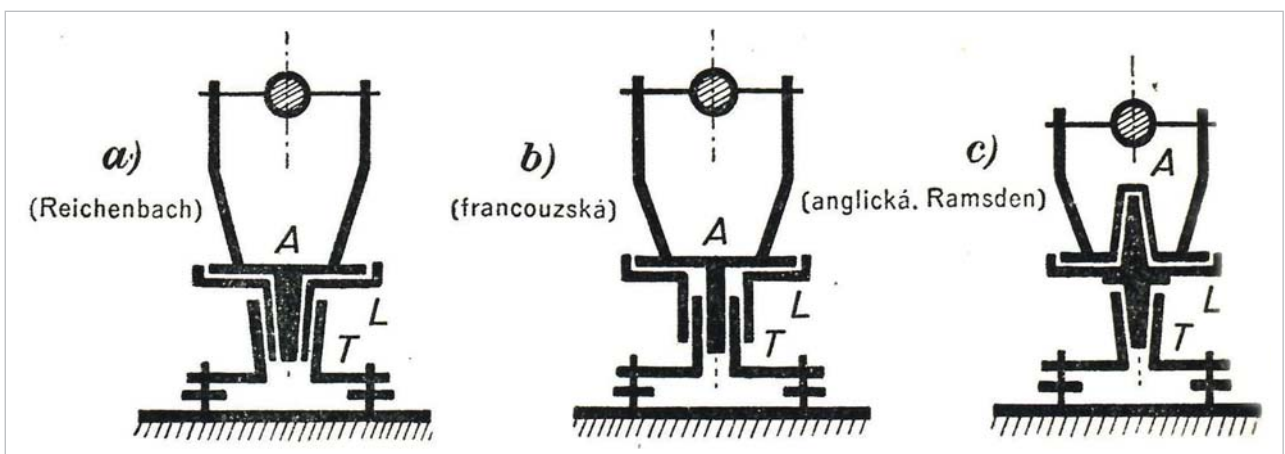
Repetiční teodolit má mezi svými konstrukčními prvky alhidádou (A), limbem (L) a podložkou (P) možnost dvou svislých os otáčení (obr. 10).

Autorem nejstaršího, tzv. francouzského uspořádání $A > P > L$ se stal Jean Charles Borda (1733–1799) roku 1784 (obr. 10b), který navrhl repetiční tzv. reflexní kruh (cercle de réflexion, cercle répétiteur, Bordův kruh – viz poznámka k obr. 2. Přístroj vyrobil Étienne Lenoir a byl v letech 1784–1787 použit při trigonometrickém spojení hvězdáren v Paříži a v Greenwichi. Anglická strana používala teodolit o hmotnosti zhruba 100 kg.)

Jesse Ramsden (1735–1800) v roce 1780 zavedl tzv. anglické uspořádání os teodolitu, vyjádřené schématem $A < L > P$ (obr. 10c). Výhodou je to, že čepy alhidádový i limbový jsou pevně spojeny s limbem a jsou vzájemně – s přesností strojírenské výroby – souosé. Tuto úpravu často používali konstruktéři triangulačních teodolitů v 19. století a počátkem 20. století. Alhidáda „plavala“ nad limbem, k seřízení vzdálenosti (volnosti otáčení) sloužil svislý mikrometrický šroub (obr. 11). Konstrukce nedovolila použít prokladný dalekohled, protože dalekohledová vidlice by byla příliš vysoká. Dalekohledy byly tedy překladné nebo excentrické.

Počátkem 19. století Georg von Reichenbach sestavil nejpoužívanější tzv. německou soustavu os teodolitu, vyjádřenou schématem $A > L > P$ (obr. 10a). Výhodou je snadná záměna přístrojů a pomůcek na stanovisku v horizontované a centrované podložce při použití v trojpodstavcové soupravě. Podle dobové literatury byl nevýhodou příliš tenký a štíhlý kuželový limbový čep. Snadnost otáčení poměrně velmi těžkých přístrojů byla s ohledem na dosažitelnou přesnost výroby upravována např. vložením distanční kruhové podložky mezi hlavu čepu a podložku (trojnožku), vložením kuličky nebo pružiny pod vrchol komolého kužele. Podrobný popis uspořádání os jednoosých i dvouosých (repetičních) teodolitů je uveden např. v ([8], s. 361–374).

Rozměry čepu byly výrobci postupně upravovány, válcový limbový čep zavedl Dr. Heinrich Wild v roce 1909



Obr. 10 Možná uspořádání os teodolitu, zdroj: [6], s. 100



Obr. 11 Triangulační teodolit F. W. Breithaupt & Sohne Cassel, zdroj: www.surveyinginstruments.org

u firmy Carl Zeiss v Jeně spolu s kuličkovým ložiskem [9]. H. Wild je zřejmě též autorem úpravy, spočívající v symetrickém umístění tří svislých čepů se zářezy na spodku limbu. Čepy zapadají do otvorů u obvodu podložky a jsou zajištěny plochým zámkem. Toto řešení kromě firmy Wild používal např. též podnik MOM. Pražská Meopta zvolila tři výstupky na svislém plášti čepu a otočný prstenec (zámek); opakovaná poloha byla jistěna svislým trnem uvnitř podložky. U přesných teodolitů Kern zavedl H. Wild vačky místo svislých stavěcích šroubů.

U dvouosých teodolitů mají každé dva ve schématu sousedící prvky vlastní ustanovky. Protože může docházet ke strhávání kruhů, mají přesné teodolity limbus s přesazováním (reiterací, na postrk). Jinou úpravou je repetiční svora, známá z přístrojů Zeiss. Zejména po nástupu skleněných dělených kruhů a digitalizaci se objevila řada dalších úprav vzájemného uložení základních prvků A, L, P. (např. [3], s. 108–111; [10], s. 91). Cílem všech úprav byla minimalizace tření a vlivu tepelné roztažnosti materiálů.

4. Závěr

Na tuto první vlnu modernizace zeměměřických přístrojů navázala koncem 19. a především na počátku 20. století druhá etapa, která je zastoupena např. firmami Zeiss, Wild, Kern. Tomuto období je věnován článek [9]. Další rozmach přinesla digitalizace včetně počítačové podpory a vznik aparatur GNSS ve 2. polovině 20. století. Funkci tachymetrů převzaly s vyšší přesností totální stanice.

LITERATURA:

- [1] HÁNEK, P. ml.–HÁNEK, P.: Rejstřík výrobců astronomicko-geodetických přístrojů. Zdiaby, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, 2021.
- [2] HÁNEK, P.–HÁNEK, P. ml.: Zeměměřictví v zrcadle času (Data z dějin oboru). Praha, České vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2022.
- [3] DEUMLICH, F.–STAIGER, R.: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. 9. přepracované vydání. Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag 2002.
- [4] NOVOTNÝ, F.: Geodésie nižší. III. díl, 3. vydání. Praha, Česká matice technická 1912.
- [5] HAUF, M. a kol.: Geodézie. Praha, SNTL 1982.
- [6] RYŠAVÝ, J.: Praktická geometrie. (Geodesie). Praha, ČMT 1941.
- [7] HEATHER, J. F.: Treatise on mathematical Instruments. 2. vydání. London, John Weale 1853.
- [8] VOGLER, A.: Lehrbuch der praktischen Geometrie, I. díl. Braunschweig, Verlag Friedrich Vieweg und Sohn 1885, s. 361-374.
- [9] HÁNEK, P.–HÁNEK, P. ml.: Století opto-mechanických geodetických přístrojů (O přínosu Heinricha Wilda). GaKO 68 (110), č. 7, s. 133-138.
- [10] RYŠAVÝ, J.–CACH, F. a kol.: Geodetická příručka, Praha, SNTL 1960.

Do redakce došlo: 22. 5. 2022

Lektoroval:
Ing. Július Bartaloš, PhD.,
Bratislava